

Heizen und Kühlen mit Abwasser

Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung
von Anlagen zur Abwasserenergienutzung



Impressum:

Markus Koch, AWEL, Abt. Gewässerschutz
Alex Nietlisbach, AWEL, Abt. Energie
Barbara Känel, AWEL, Abt. Gewässerschutz
Marco Calderoni, AWEL, Abt. Wasserbau
Barbara Wille, AWEL, Rechtsdienst
Roger Müller, Stadtwerk Winterthur, Abwasserreinigungsanlage Hard
Peter Bretscher, Stadtentwässerung Winterthur
Oskar Wanner, Eawag, Wissenschaft/Technik
Hansruedi Siegrist, Eawag, Wissenschaft/Technik
Armin Peter, Eawag, Fischökologie und Evolution
Ernst A. Müller, EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen

Beat Kobel, Ryser Ingenieure AG, Bern, Projektleiter
Yann Roth, Ryser Ingenieure AG, Bern, Sachbearbeiter

Herausgeber:

Baudirektion Kanton Zürich
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
Download dieser Broschüre: www.ara.zh.ch/abwaerme

Dank

Dieser Leitfaden entstand gemeinsam mit der Eawag sowie den beiden Städten Winterthur und Zürich, den Ryser Ingenieuren (Projektleitung) sowie mit EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen. Er lehnt sich eng an den Leitfaden «Energierückgewinnung aus Abwasser» des Kantons Solothurn an [1]. Die Mustervorlagen für die Nutzungsvereinbarungen wurden in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Winterthur und dem Rechtsdienst des AWEL erarbeitet. Wir danken diversen Stellen für die Überlassung von Abbildungen.

1 Vorwort

Mit dem Abwasser aus Haushalten, öffentlichen Einrichtungen sowie aus Industrie und Gewerbe gehen kontinuierlich erhebliche Mengen an Wärmeenergie verloren. Im Hinblick auf den häushälterischen Umgang mit den Energieressourcen und die Klimaproblematik ist es angezeigt, diese «Ab»-Wärme zu nutzen und aus dem Abwasser zurückzugewinnen. Bereits heute wird an einigen Orten Wärme aus dem Abwasser ohne Beeinträchtigung der hohen Anforderungen an die Reinigungsleistung der ARA verwendet. Weitere energetische Nutzungen sind grundsätzlich erwünscht, wenn diese im Einklang mit den Gewässerschutzvorgaben stehen.

Die kantonale Energieplanung verlangt denn auch, soweit zweckmässig, eine möglichst weitgehende Verwendung der Abwärme aus ARA. Die grösseren ARA sind im kantonalen Richtplan als Abwärmequellen erfasst. Damit werden die Regionen und Gemeinden beauftragt, in Zusammenarbeit mit der Trägerschaft der betreffenden Anlagen zu prüfen, wie die Abwärme genutzt werden kann. Geeignete Versorgungsgebiete werden sinnvollerweise in regionalen bzw. kommunalen Energieplanungen ausgeschieden.

Dieser Leitfaden soll ein effizientes Vorgehen bei der Prüfung und Genehmigung solcher Projekte ermöglichen. Er richtet sich an Planer (Energie-, GEP- und ARA-Planung), Bewilligungsbehörden sowie ARA-Inhaber und -Betreiber. Insbesondere werden auch rechtliche Fragen (Bewilligungspflicht, Nutzungsrechte) erläutert. Zusätzlich sind im Anhang Muster zur Ausgestaltung von Nutzungsvereinbarungen aufgeführt.

Zürich, September 2010

Dr. Jürg Suter, Chef AWEL

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Potential der Abwasserenergienutzung	6
1.2	Gegenstand des Leitfadens	7
2	Abwasserenergienutzung nach der ARA	8
2.1	Technische Voraussetzungen	8
2.2	Auswirkungen auf die Ökologie des Vorfluters	9
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	10
3	Abwasserenergienutzung vor der ARA	12
3.1	Technische Voraussetzungen	12
3.2	Auswirkungen auf die Energie- und CO ₂ -Bilanz der ARA	15
3.3	Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der ARA	16
3.4	Rechtliche Rahmenbedingungen	17
4	Abwasserenergienutzung vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation	19
4.1	Technische Voraussetzungen	19
4.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	19
5	Wärmeverteilsysteme	21
5.1	Kalte Fernwärme	21
5.2	Warme Fernwärme	21
6	Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur AEN aus Kanalisation und ARA-Ablauf	23
6.1	Eigentümer der Abwasserwärme	23
6.2	Abwicklung eines Projekts	23
6.3	Gewässerschutzrechtliche Bewilligung	24
6.4	Nutzungsvereinbarung für den Betrieb einer Anlage zur AEN	24
6.5	Weitere Vereinbarungen	25
7	Literaturverzeichnis	26
	Anhänge	27
1	Gesuch um gewässerschutzrechtliche Bewilligung für Abwasserenergienutzung (AEN)	28
2	Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung (AEN) aus gereinigtem Abwasser	29
3	Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung aus dem Rohabwasser der öffentlichen Kanalisation	32
4	Übersicht über die wichtigsten Kältemittel	35
5	Berechnung der zulässigen Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf	36
6	Auswirkungen und Abschätzungen der Gewässerbelastung durch AEN	37

Verwendete Begriffe und Abkürzungen

AEN:	AbwasserEnergieNutzung (hier Wärmeentnahme und Wärmerückgabe aus bzw. ins gereinigte oder ungereinigte Abwasser)
ARA:	Abwasserreinigungsanlage (Synonym für Kläranlage)
ARA-Betreiber:	Betriebsleiter oder Betriebspersonal der ARA
ARA-Inhaber:	Gemeinde, Stadt oder Zweckverband, die für den Betrieb verantwortlich sind, i.d.R. Eigentümer
AWEL:	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
ChemRRV:	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (SR 814.81)
Denitrifikation:	Umwandlung von Nitrat in Stickstoff-Gas (in ARA)
Eawag:	Eidg. Anstalt für Abwasserreinigung, Wasserversorgung und Gewässerschutz, Dübendorf
EG GSchG:	Einführungsgesetz zum Gewässerschutzgesetz des Kantons Zürich (LS 711.1)
F+J:	Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich
Fließgewässer:	Bäche und Flüsse
GEP:	Genereller Entwässerungsplan
GSchV:	Eidg. Gewässerschutzverordnung (SR 814.201)
Heizen mit Abwasser:	Wärmeentnahme aus dem Abwasser erfolgt zu Heizzwecken: das Abwasser wird abgekühlt
Kühlen mit Abwasser:	Wärmeeintrag ins Abwasser durch Kühlanlagen: das Abwasser wird erwärmt
Nitrifikation:	Umwandlung von (fischgiftigem) Ammonium/Ammoniak in Nitrat (in ARA)
Oberflächengewässer:	Bäche, Flüsse, Seen
Vorfluter:	oberirdische Gewässer (Bäche, Flüsse, Seen), in die Abwasser eingeleitet wird

1 Einleitung

1.1 Potential der Abwasserenergienutzung

Mit dem Abwasser gehen aus Haushalten, öffentlichen Einrichtungen sowie aus Industrie und Gewerbe stetig erhebliche Mengen an Wärme verloren. Diese kann mittels Wärmetauschern zurückgewonnen und für Heizzwecke verwendet werden. Das Abwasser kann aber auch als Wärmeträger zur Kühlung genutzt werden. Dabei ist zu beachten, dass die dadurch entstehende Gewässererwärmung grundsätzlich nicht erwünscht ist, weshalb das Potential zur Kühlung eher bescheiden ist.

Diese Verwendungsmöglichkeiten des Abwassers gewinnen vermehrt an Bedeutung, können doch damit beträchtliche Einsparungen an Heiz- und Kühlenergie erreicht werden [2]. Da Abwasser auch in der kalten Jahreszeit meistens Temperaturen zwischen 10 °C und 20 °C aufweist, stellt es eine geeignete Wärmequelle für Wärmepumpen dar. Im Hinblick auf eine allfällige zukünftige Energieknappheit und auf die Klimaproblematik wird das Interesse an der Rückgewinnung von Wärme aus Abwasser bei den Bauherrschaften weiterhin zunehmen.

Grundsätzlich kann dem gereinigten und ungereinigten Abwasser Wärme entzogen bzw. diesem zugeführt werden (Abb. 1). Für eine wirtschaftliche Nutzung müssen minimale Abwassermengen an der Wärmeentnahmestelle verfügbar sein: Wärmeentnahmen aus Abwasser erfordern mindestens stete Abwasserflüsse von 10 l/s (= Nachtminimum von etwa 5'000 Einwohnern).

Das nutzbare Energieangebot von gereinigtem Abwasser ist wesentlich grösser als dasjenige des Rohabwassers in der Kanalisation. Deshalb sind, sofern geeignete Abnehmer vorhanden sind, wenn möglich Anlagen zur AEN aus gereinigtem Abwasser zu installieren..

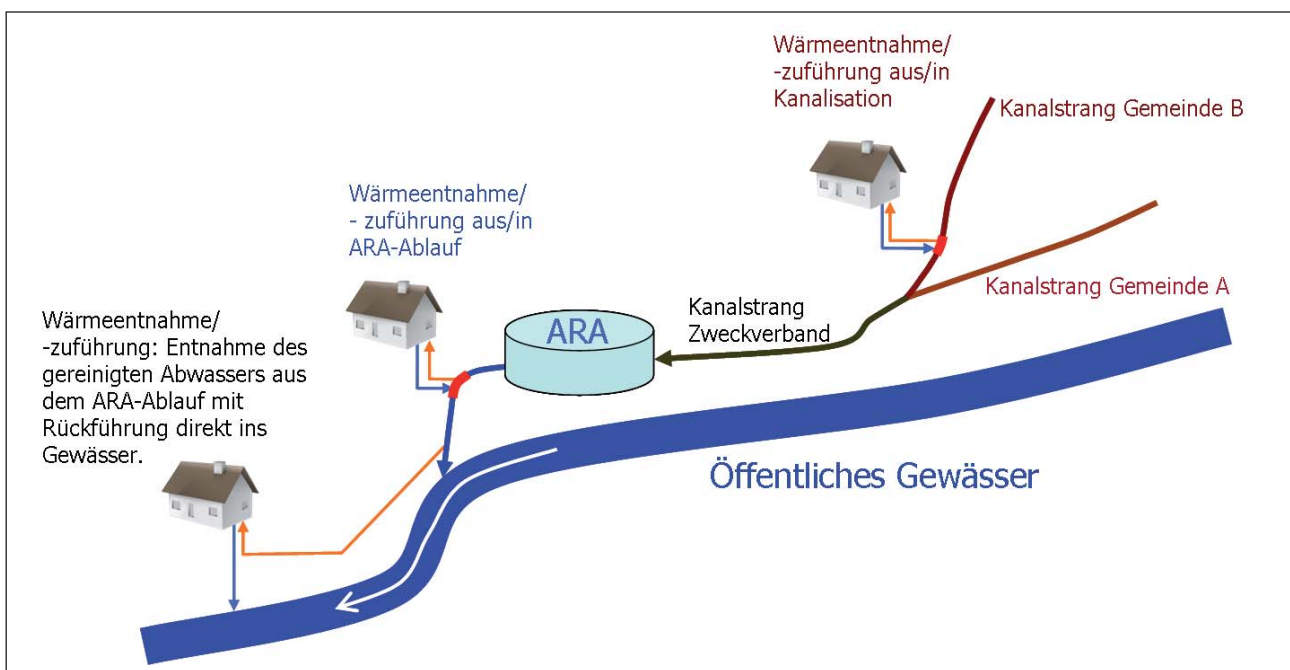


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Wärmeentnahmen und -einträgen

1.2 Gegenstand des Leitfadens

Im Leitfaden werden unter dem Begriff «AEN» die Wärmeentnahme aus dem Abwasser sowie der Wärmeeintrag in dieses verstanden. Ausdrücklich nicht eingeschlossen ist die Nutzung potentieller Energie, das heisst, der Lageenergie des Abwassers [3]. Die Nutzung von Grundwasser zur Wärmegewinnung sowie die direkte Wärmeentnahme aus Oberflächengewässern werden hier ebenfalls nicht behandelt. Mit diesen Themenkreisen befassen sich die beiden AWEL-Publikationen «Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser», Planungshilfe [4] sowie «Wärme-/Kältenutzung aus Flüssen und Seen», Planungshilfe [5].

2 Abwasserenergienutzung nach der ARA

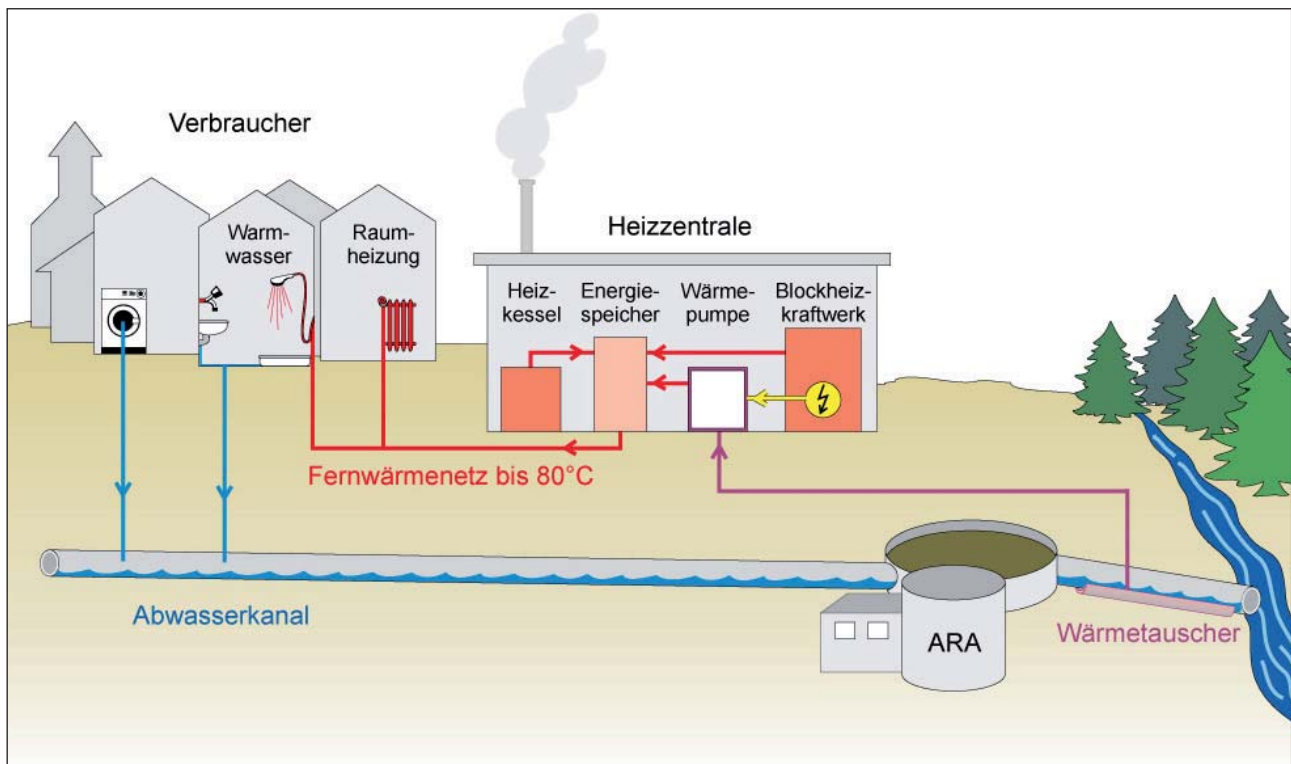


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Abwasserenergienutzung nach der ARA (F. Schmid, EnergieSchweiz in Infrastrukturanlagen, angepasst durch Ryser Ingenieure AG)

2.1 Technische Voraussetzungen

Den Berichten des AWEL zur kantonalen Energieplanung [6] und dem kantonalen GIS-Browser können die genutzten und ungenutzten Wärmepotenziale der ARA (aus gereinigtem Abwasser) des Kantons Zürich entnommen werden [7]. Diese Zahlen stützen sich auf eine grobe Berechnung basierend auf den Abwasserabflussmengen und der zulässigen Absenkung der Abwassertemperaturen.

Grundsätzlich soll das genutzte Abwasser wieder in den ARA-Auslauf zurückgeführt werden. Wird das Abwasser nach der Wärmeentnahme nicht mehr in den ARA-Auslauf zurückgegeben, sondern an anderer Stelle ins Gewässer eingeleitet, sind eventuell zusätzliche Anforderungen an die Qualität der Fließgewässer gemäss Anhang 2, Ziffer 12 Abs. 3 und 4 GSchV einzuhalten, und eine zusätzliche gewässerschutzrechtliche Bewilligung ist erforderlich.

Die AEN sollte primär zu Heizzwecken eingesetzt werden. Die gleichen technischen Einrichtungen (Wärmetauscher, Zwischenkreislauf, Wärmepumpe usw.), die zur Wärmerückgewinnung benötigt werden, können aber auch zum Kühlen verwendet werden. Diese Option verbessert in der Regel die Wirtschaftlichkeit der Energiegewinnung aus Abwasser, kann sich aber auf die Ökologie bzw. den Wärmehaushalt des Vorfluters negativ auswirken. Damit eine Bewilligung für den Kühlbetrieb erteilt werden kann, muss bei Neubauten der Minergie-Standard eingehalten werden. Bestehende Gebäude sind energetisch soweit möglich und zumutbar zu optimieren [5].

Die massgebenden Grössen zur Ermittlung des Kühlpotenzials im Abwasser sind grundsätzlich dieselben wie bei der Wärmenutzung, nämlich Abwassermenge und -temperatur, bzw. die nutzbare Temperaturdifferenz.

Für die Einleitung in Seen gilt, dass das gereinigte Abwasser während der Stagnationsphase im Sommer unterhalb der Sprungschicht eingeleitet werden muss. Mittels einer Modellrechnung muss nachgewiesen werden, dass das nährstoffreiche Abwasser nicht in die Sprungschicht (trophogene Zone) gelangt [5].



Abbildung 3/4: Bau der Fernleitung für das gereinigte Abwasser aus der ARA Hard, Winterthur, in den Neubau Tösswiesen, Neftenbach

2.2 Auswirkungen auf die Ökologie des Vorfluters

Die Gewässer in der Schweiz weisen durch menschliche Einflüsse bedingt zunehmend höhere Temperaturen auf, und die einheimische Fischfauna erfährt dadurch schon heute Beeinträchtigungen (siehe Anhang 8). Wärmeeinträge in die Gewässer über die Wärmerückführung ins gereinigte Abwasser sind deshalb möglichst zu vermeiden und nur in jenen Fällen zugelassen, in denen das erwärmte Abwasser in Fliessgewässern und stehenden Gewässern genügend verdünnt wird.

Dagegen ist die Entnahme von Wärme aus dem gereinigten Abwasser sowohl aus energetischen Gründen als auch aus Sicht des Gewässerschutzes durchaus erwünscht. Die Nutzung der Wärme im Abwasser hilft die Gewässertemperaturen tief zu halten. Deshalb ist bei der AEN nach der ARA Heizen immer sinnvoller als Kühlen.

Wird dem gereinigten Abwasser Wärme entzogen oder zugeführt, ergeben sich unterschiedliche Wirkungen auf das betroffene Gewässer. Diese sind einerseits von der Jahreszeit, andererseits vom Ort der Abwasserrückführung abhängig. Die folgende Tabelle fasst diese Einflüsse zusammen.

Tabelle 1: Einfluss von Wärmeentnahme und -eintrag aus dem gereinigten Abwasser auf ARA-Betrieb und Gewässer

Wärme	Jahreszeit	Rückführung des genutzten Abwassers	Einfluss auf ARA-Betrieb	Einfluss auf Gewässer *
Entnahme	Winter	in den Auslauf der ARA	kein Einfluss	erwünschte Abkühlung
Entnahme	Winter	direkt ins Gewässer	kein Einfluss	erwünschte Abkühlung **
Entnahme	Sommer	in den Auslauf der ARA	kein Einfluss	erwünschte Abkühlung
Entnahme	Sommer	direkt ins Gewässer	kein Einfluss	erwünschte Abkühlung **
Eintrag	Winter	in den Auslauf der ARA	kein Einfluss	unerwünschte Erwärmung
Eintrag	Winter	direkt ins Gewässer	kein Einfluss	unerwünschte Erwärmung **
Eintrag	Sommer	in den Auslauf der ARA	kein Einfluss	unerwünschte Erwärmung
Eintrag	Sommer	direkt ins Gewässer	kein Einfluss	unerwünschte Erwärmung **

* Qualitative Bewertung; Einfluss abhängig vom Umfang der Temperaturzu- bzw. -abnahme des Abwassers)

** Wird das gereinigte Abwasser nach der Nutzung in ein anderes kleineres Gewässer eingeleitet, sind allenfalls strengere Einleitungsbedingungen erforderlich.

Abbildung 4: Plattenwärmetauscher für gereinigtes Abwasser in der ARA Illnau-Effretikon (AWEL)

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Zustimmung durch den ARA-Inhaber

Die Wärmeenergie im ARA-Auslauf gehört dem ARA-Inhaber. Voraussetzung zur Erstellung einer Wärmeentnahmeanlage ist daher die Zustimmung des ARA-Inhabers (Gemeinde oder Zweckverband) und der Abschluss einer Nutzungsvereinbarung.

Gewässerschutzrechtliche Bewilligung durch den Kanton

Nach § 8 EG GSchG sind Projekte, welche die Güte des Wassers beeinträchtigen oder die Wassermenge eines Gewässers verändern könnten, durch das AWEL zu bewilligen. Diese Bewilligungspflicht gilt sowohl für Anlagen, bei denen das genutzte Abwasser wieder in den ARA-Auslauf zurückgeführt wird, wie für solche, bei denen das Abwasser an anderer Stelle ins Gewässer eingeleitet wird.

AEN nach der ARA können bewilligt werden, wenn folgende Bestimmungen beachtet werden:

- Die Temperaturverhältnisse des Gewässers, in das das Abwasser der ARA eingeleitet wird, müssen naturnah bleiben (Anhang 1 Ziff. Abs. 3 lit. a GSchV). Wird das Abwasser nach der Wärmenutzung an anderer Stelle als beim ARA-Auslauf ins Gewässer eingeleitet, gilt diese Bestimmung am Ort der Einleitung für das betreffende Gewässer.
- Die Temperatur eines Fließgewässers darf durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber

dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 °C, verändert werden; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Diese Anforderungen gelten nach weitgehender Durchmischung. Um den Schutz der Gewässer garantieren zu können, kann das AWEL die Abschaltung der Kühlanlagen bereits bei einer tieferen Fließgewässertemperatur anordnen.

- Unvermeidbare schnelle Temperaturveränderungen im eingeleiteten Abwasser, z.B. durch Ein- und Ausschaltvorgänge, dürfen im Gewässer nicht zu Temperaturschwankungen von mehr als 1 °C führen. Diese Anforderung gilt nach weitgehender Durchmischung.
- Die rasche Durchmischung des für AEN genutzten Abwassers bei direkter Einleitung ins Gewässer muss mit einem gewässerkundlichen Gutachten bestätigt werden [5].
- Der Zwischenkreislauf zwischen dem Wärmetauscher und der Wärmepumpe muss überwacht werden. Als Wärmeträgerflüssigkeit im Zwischenkreislauf ist grundsätzlich Wasser einzusetzen (in einer Grundwasserschutzzone ist dies zwingend). Das AWEL prüft im Einzelfall die Zulässigkeit von anderen Wärmeträgerflüssigkeiten, z.B. Produkte, welche Basisstoffe gemäss Anhang A6 der Vollzugshilfe «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» [8] enthalten.
- Es dürfen nur Kältemittel eingesetzt werden, die gemäss Anhang 2.10 ChemRRV zugelassen sind (siehe auch Anhang 6, nicht abschliessend, sowie [9]).
- Es dürfen keine toxischen oder schwer abbaubaren Stoffe ins Abwasser gelangen (z.B. Reinigungsmittel zur Beseitigung von Biofilmen und anderen Ablagerungen auf Wärmetauschern).
- Sämtliche Abwässer aus der Reinigung der erforderlichen Rohrleitungen und Wärmetauscher sowie Wärmetauscherflüssigkeiten sind sachgerecht zu entsorgen.

Im Übrigen ist die direkte Entnahme bzw. Einleitung von Wasser zur Wärme- und Kältenutzung nicht zulässig bei Fließgewässern, deren Trockenwetterabfluss Q347 weniger als 500 l/s beträgt [5].



Abbildung 5/6: Die ARA Meilen versorgt umliegende Wärmeabnehmer schon seit mehreren Jahrzehnten mit Abwasserwärme. Sie liefert sowohl kalte Fernwärme (Wärmetauscher, Abbildung links) als auch warme Fernwärme (Wärmepumpe, Abbildung rechts). Planung, Finanzierung, Bau und Betrieb der erforderlichen Anlagen erfolgen durch einen Contractor, in diesem Fall durch die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), welche die Kunden mit Wärme versorgen. Die ARA Meilen stellt die Abwasserwärme (gereinigtes Abwasser) und die Räumlichkeiten für die Infrastruktur zur Verfügung.

3 Abwasserenergienutzung vor der ARA

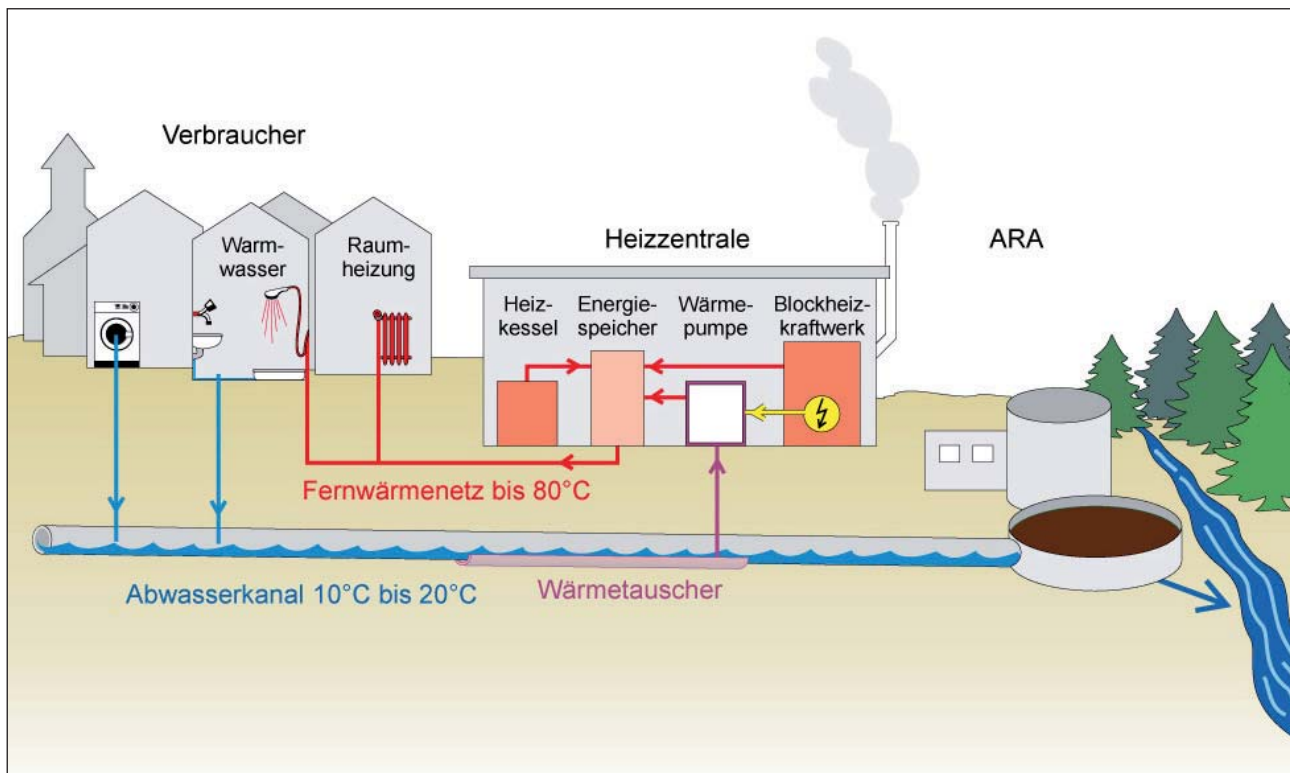


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Abwasserenergienutzung vor der ARA (F. Schmid, EnergieSchweiz in Infrastrukturanlagen, angepasst durch Ryser Ingenieure AG)

3.1 Technische Voraussetzungen

Der Generelle Entwässerungsplan (GEP) und insbesondere die dafür erstellten Grundlagen und Pläne eignen sich bestens dazu, Anzahl, Leistung und Standorte möglicher und allenfalls bereits realisierter Anlagen zur AEN und die freigegebenen Wärmeleistungsmengen zu visualisieren [10]. Im Rahmen der GEP-Bearbeitung liegen spezifische Grundlagen zu den Abwassermengen vor, die als Grundlage für die Ermittlung der nutzbaren Wärmemengen herangezogen werden können. Zur Eruiierung geeigneter Kanäle für Wärmeentnahmen und -rückgaben kann der örtliche GEP-Ingenieur beigezogen werden.

Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Abwärmenutzung erscheint es zweckmässig, diese gesamtheitlich zusätzlich in den GEP bzw. Verbands-GEP vertieft abzuhandeln. Das heisst, dass die technischen Rahmenbedingungen der ARA, die Auswirkungen auf das Gewässer, sowie die Belastungen, Entnahme- und Einleitstellen von bereits freigegebenen Wärmekontingenten in der Planung berücksichtigt werden müssen.

Insbesondere folgende Parameter werden im Rahmen der GEP-Bearbeitung erfasst:

- Länge der Kanalabschnitte
- Kanalprofile
- Nennweiten
- Gefälle
- Art des Kanalsystems (Trennsystem oder Mischsystem)
- Abwassermengen
- maximal mögliche Reduktion des Kanalquerschnitts durch Einbau von Wärmetauschern

Der letztgenannte Punkt ergibt sich aus einer Gegenüberstellung des maximalen Abflusses bei Starkregen gemäss GEP und des maximal möglichen Abflusses aufgrund des Kanalquerschnitts.

Beim Einbau und der Wartung von Wärmetauschern sind folgende Aspekte zu beachten:

- Aus arbeitsrechtlichen Gründen (SUVA) ist der Einbau eines Wärmetauschers in einen bestehenden Kanal erst ab einem Kanaldurchmesser von mindestens 800 mm erlaubt [11].
- Der Einbau von Wärmetauschern in die Kanalisation darf die hydraulische Situation des Kanalsystems und des Abflussregimes, z.B. bei Abflussspitzen, nicht massgeblich beeinflussen.

Heute existieren aber auch Systeme, bei denen das Abwasser aus der Kanalisation abgepumpt wird und der Wärmetauscher in der Heizzentrale installiert ist. Wie Erfahrungen zeigen, ist es vor der Realisierung einzelner Anlagen ratsam, im betroffenen Kanalabschnitt Abfluss- und Temperaturmessungen vorzunehmen.

Bei Wärmeentnahmen aus dem ungereinigten Abwasser (Rohabwasser) sowie Wärmeeinträgen in dieses kann ab einem gewissen Umfang die ARA in ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigt werden. Diesem Aspekt ist vor allem bei ARA mit ganzjährig geforderter Nitrifikation besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Mit Hilfe des folgenden Diagramms (Abbildung 8) können erste Hinweise gewonnen werden, welche Wärmeleistung aus dem Kanalisationsnetz entzogen werden kann. Die mögliche Entnahmeleistung hängt von der Rohabwassermenge und von der zulässigen Temperaturreduktion im ARA-Zulauf ab [12,13]. Das detaillierte Vorgehen zur Ermittlung der möglichen Wärmeentzugsleistung ist im Anhang 5 beschrieben. Dabei müssen unbedingt auch die vorhandene Reserve der Reinigungsleistung und die zukünftige Belastungsentwicklung der ARA im Auge behalten werden.

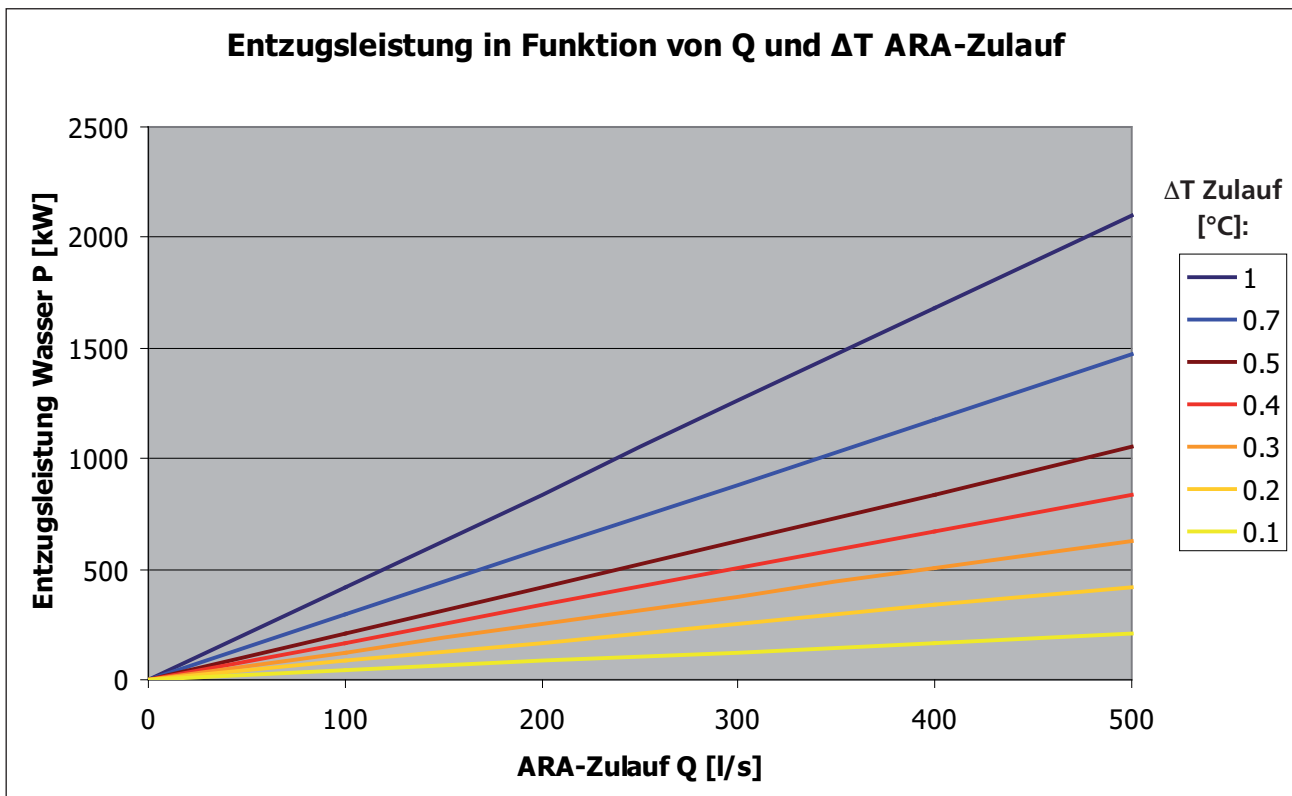


Abbildung 8: Mögliche Wärmeentzugsleistung P in Funktion der ARA-Zulaufmenge (Q) und der zulässigen Temperaturreduktion im Rohabwasser (ΔT). ($Q = 85$ %-Wert aller aktueller Trockenwettertage, Momentanwert im Tagesmittel).



Abbildung 9: Bei der Herstellung des Kanalisationsrohrs bereits integrierter Wärmetauscher (Eawag)



Abbildung 10: Wärmetauscher zum nachträglichen Einbau in die Kanalisation (KASAG, Langnau)

3.2 Auswirkungen auf die Energie- und CO₂-Bilanz

Durch AEN können aus einem Kubikmeter Abwasser pro 1 Grad Celsius Temperaturänderung 1,2 kWh Energie gewonnen werden [13]. Bei der AEN zu Heizzwecken entsteht kein Mehrverbrauch an Betriebsenergie in der ARA, aber deren Reinigungsleistung kann sich reduzieren (siehe Kapitel 3.3).

Wird dieselbe Anlage zur AEN im Sommer zum Kühlen verwendet und damit dem Abwasser Wärme zugeführt, resultiert theoretisch bei nitrifizierenden/denitrifizierenden ARA eine höhere Nitrifikationsleistung und somit eine verbesserte Stickstoff-Elimination, dies wegen der höheren Aktivität des Belebtschlammes. Dem steht aber ein gewisser energetischer Mehraufwand für die biologische Reinigung gegenüber, da der Energieaufwand für den Sauerstoffeintrag mit steigender Temperatur zunimmt. Dies ergibt sich aus der schlechteren Löslichkeit des Sauerstoffs im Abwasser und der stärkeren Mineralisierung des Belebtschlammes. Der energetische Mehraufwand liegt in der Grössenordnung von 0,01 kWh pro Kubikmeter Abwasser und pro Temperaturänderung von 1 °C und ist damit deutlich geringer als die mit der AEN gewonnene Energie. Gemäss SIA 380/1, Anhang F [14], entspricht dieser Mehraufwand pro Kubikmeter Abwasser und Temperaturänderung von 1 °C einer Primärenergie von ca. 0,03 kWh. Um dieselbe Leistung mit einer konventionellen Kühlung zu erbringen, ist eine Primärenergie von rund 0,9

kWh nötig. Die für eine konventionelle Kühlung aufzuwendende Primärenergie liegt somit um mehr als eine Grössenordnung über dem für eine Kühlung mit Abwasser benötigten energetischen Mehraufwand an Primärenergie. Demnach sind also sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendete Anlagen zur AEN in ihrer gesamtenergetischen Bilanz positiv und haben insgesamt eine Reduktion des Primärenergieeinsatzes und der CO₂-Emissionen zur Folge.

3.3 Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der ARA

Unabdingbare Voraussetzungen für Wärmeentnahmen aus dem Rohabwasser und Wärmeinträge ins Rohabwasser (öffentliche Kanalisation) sind eine ARA mit genügender Kapazität hinsichtlich der Reinigungsleistung, insbesondere bzgl. der Nitrifikation, und ein Vorfluter, der über genügend thermische Kapazität verfügt, d.h. ein grosses Verhältnis von Abfluss im Gewässer zu eingeleiteter Abwassermenge aufweist. Deshalb sind bei Beurteilungen der Realisierbarkeit von Anlagen zur AEN neben der ARA auch stets die betroffenen Gewässer mit zu berücksichtigen (siehe Anhang 6).

Die Entnahme von Wärme aus dem ungereinigten Abwasser kann zu einer verminderten Reinigungsleistung der biologischen Reinigungsstufe in der ARA führen, da die Nitrifikationsleistung und die Stickstoffelimination bei tieferen Abwassertemperaturen reduziert sind. Damit die Reinigungsleistung der ARA und insbesondere die Nitrifikation sichergestellt werden können, kann die Belebtschlammkonzentration im Belebungsbecken oder dessen aerobes Volumen erhöht werden. Letzteres geht allerdings auf Kosten der Stickstoffelimination, falls das totale Beckenvolumen nicht vergrössert wird [13]. Eine Vergrösserung des Beckenvolumens hätte Kosten zur Folge, die dem Wärmebezügler überbunden werden könnten. Da die natürlichen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Abwassertemperatur im ARA-Zulauf

Wärme	Jahreszeit	Rückführung des genutzten Abwassers	Einfluss auf ARA-Reinigungsleistung*	Einfluss auf Gewässer
Entnahme	Winter	in die Kanalisation	negativ**	erwünschte Abkühlung, höhere ARA-Ablaufkonzentrationen
Entnahme	Sommer	in die Kanalisation	negativ**	erwünschte Abkühlung, höhere ARA-Ablaufkonzentrationen
Eintrag	Winter	in die Kanalisation	positiv***	unerwünschte Erwärmung, tiefere ARA-Ablaufkonzentrationen
Eintrag	Sommer	in die Kanalisation	positiv***	unerwünschte Erwärmung, tiefere ARA-Ablaufkonzentrationen

Tabelle 2: Einfluss von Wärmeentnahme und -eintrag in der Kanalisation auf ARA und Gewässer

* Qualitative Bewertung; Einfluss abhängig vom Umfang der Temperaturzu- bzw. -abnahme des Abwassers)

** kompensierbar mit zusätzlichem aeroben Belebungsbeckenvolumen [12]

*** Siehe Kapitel 3.2

aber normalerweise viel grösser sind als die von der AEN verursachten Temperaturänderungen, fallen diese Aspekte nur bei grösseren Eingriffen in den Wärmehaushalt des Rohabwassers in Betracht. Allenfalls kann die verminderte Reinigungsleistung auch mit verfahrenstechnischen Anpassungen und demzufolge mit einem technischen oder energetischen Mehreinsatz in der ARA selbst wettgemacht werden. Dasselbe gilt grundsätzlich auch bei der Nutzung des unge-reinigten Abwassers zu Kühlzwecken.

Bei der AEN ist die zulässige nutzbare Abwassertemperaturdifferenz für Kühlzwecke meist wesentlich grösser als für Heizzwecke. Dies deshalb, weil die biologischen Reinigungsprozesse in der ARA bei höheren Temperaturen effektiver ablaufen.

Wird dem ungereinigten Abwasser Wärme entzogen oder zugeführt, ergeben sich je nach Jahreszeit unterschiedliche Wirkungen auf den ARA-Betrieb. Die Tabelle 2 fasst diese Einflüsse zusammen.

3.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Zustimmung des Kanalisationsinhabers bzw. des ARA-Inhabers

Die Wärmeenergie in der öffentlichen Kanalisation gehört dem Kanalisationsinhaber. Die Nutzung der Energie ist daher von seiner Zustimmung abhängig. Falls Inhaber der Kanalisation und der ARA nicht identisch sind, ist zusätzlich die Zustimmung des ARA-Inhabers notwendig, da durch die Wärmeentnahmen die Reinigungsleistung der ARA beeinträchtigt werden kann.

Die Zustimmung zur Wärmeentnahme erteilen Kanalisations- und ARA-Inhaber durch den Abschluss einer Nutzungsvereinbarung mit dem Interessenten. Bei der Ausgestaltung dieser Vereinbarung sind folgende Bestimmungen zu berücksichtigen:

- Gemäss Anhang 3.2 Ziffer 2 GSchV gilt für Industrieabwasser, dass es höchstens mit einer Temperatur von 60 °C in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden darf. Nach der Vermischung darf die Abwassertemperatur in der Kanalisation höchstens 40 °C betragen.
- Für Temperaturveränderungen in der Kanalisation, die nicht auf die Einleitung von Abwasser zurückzuführen sind, sowie für die Einleitung von häuslichem Abwasser legt die GSchV weder zulässige Maximal- noch Minimalwerte fest. Der Kanalisations- bzw. ARA-Inhaber kann in der Nutzungsvereinbarung aber solche Werte vorschreiben.
- Durch den Betrieb sämtlicher im ARA-Einzugsgebiet vorhandener Anlagen zur AEN darf die Abwassertemperatur im Zulauf der ARA nicht unter 10 °C sinken (i.d.R. Dimensionierungsgrundlage für ARA).
- Der Zwischenkreislauf zwischen dem Wärmetauscher und der Wärmepumpe muss überwacht werden. Als Wärmeträgerflüssigkeit im Zwischenkreislauf ist grundsätzlich Wasser einzusetzen (in einer Grundwasserschutzzone ist dies zwingend). Das AWEL prüft im Einzelfall die Zulässigkeit von anderen Wärmeträgerflüssigkeiten, z.B. Produkte, welche Basisstoffe gemäss Anhang A6 der Vollzugshilfe «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» (BAFU, 2009) [13] enthalten.

- Es dürfen nur Kältemittel eingesetzt werden, die gemäss Anhang 2.10 ChemRRV zugelassen sind (siehe auch Anhang 4, nicht abschliessend, sowie [9]).
- Bei der Entfernung von Ablagerungen auf den Wärmetauschern dürfen keine toxischen oder schwer abbaubaren Stoffe ins Abwasser gelangen.
- Sämtliche Abwässer aus der Reinigung der erforderlichen Rohrleitungen und Wärmetauscher sowie Wärmetauscherflüssigkeiten sind sachgerecht zu entsorgen.

Bei der Ausgestaltung der Nutzungsvereinbarungen sollte beachtet werden, dass die Funktionsfähigkeit der ARA und die damit verbundenen gewässerschützerischen Interessen oberste Priorität haben. Dies kann dazu führen, dass Wärmenutzungsanlagen (auf kantonale Anordnung hin) zeitweilig oder – im Extremfall – dauerhaft ausser Betrieb genommen werden müssen. Für solche Fälle muss in der Nutzungsvereinbarung eine Abmachung über die Haftung für die Nutzungsausfälle getroffen werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Bedürfnisse des Gewässerschutzes und diejenigen einer nachhaltigen Energieverwendung (CO₂-Problematik) im Einzelfall jeweils sorgfältig gegeneinander abzuwägen sind. Um den Einfluss der AEN auf ARA und Gewässer verfolgen zu können, wird empfohlen, Nutzungsskontingente etappenweise frei zu geben.

Gewässerschutzrechtliche Bewilligung durch den Kanton

Umfangreichere Wärmeentnahmen und -rückgaben aus der öffentlichen Kanalisation beeinflussen die Reinigungsleistung der ARA. Deshalb erfordern solche Eingriffe in den Wärmehaushalt des kommunalen Abwassers eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung durch den Kanton, wenn im Einzelfall der Wärmeentzug bzw. die -rückgabe im Rohwasserzulauf der ARA eine theoretische Temperaturänderung von mehr als 0.1 °C verursacht (Bagatellgrenze). Die theoretische Temperaturänderung kann aus der Abbildung im Anhang 5 und der Gleichung aus Anhang 6 abgeschätzt werden.

4 Abwasserenergienutzung vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation

4.1 Technische Voraussetzungen

Die AEN ist zur Versorgung von kleinen Gebäuden wie einzelnen Einfamilienhäusern zwar möglich aber zurzeit noch nicht wirtschaftlich. Erfahrungsgemäss können Anlagen zur AEN bei einem Wärmeleistungsbedarf ab 150 kW ökonomisch betrieben werden [15].

Für die wirtschaftliche Nutzung der Abwasserenergie im Gebäude ist als Richtwert eine Abwassermenge von mindestens 8'000 bis 10'000 Liter pro Tag notwendig. Da pro Person und Tag im Durchschnitt mit einem Verbrauch von Warm- und Kaltwasser von ca. 150 Liter gerechnet werden kann, ist ein Abwasseranfall von mindestens 60 Personen erforderlich, was etwa 30 Wohneinheiten entspricht. Für das von ihnen produzierte häusliche Abwasser kann mit einer durchschnittlichen Temperatur von ca. 23 °C gerechnet werden.



Abbildung 11/12: In der Sportanlage Heerenschürli, Zürich, wird das Abwasser «inhaus» zur Wärmerückgewinnung genutzt. Abbildung links: Einbau des Wärmetauschers; Abbildung rechts: Wärmepumpe und Steuereinheit im ersten Stockwerk der Sportanlage (FEKA Energiesysteme AG, Bad Ragaz)

4.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Abwasserwärme von Liegenschaften wie Wohnhäusern, Spitälern, Pflegeheimen, Sportanlagen, Industrie- und Gewerbe-Betrieben gehört den Abwasseremittenten aus diesen Liegenschaften. Es ist ihnen grundsätzlich gestattet, die Abwasserenergie ihres Abwassers vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation zu nutzen. Dabei gelten bezüglich der technischen Umsetzung die gleichen Vorgaben wie für Wärmeentnahmen aus der öffentlichen Kanalisation:

- Zwischen dem abwasserseitigen Wärmetauscher und der Wärmepumpe muss ein überwachter Zwischenkreislauf mit Wasser betrieben werden.
- Es dürfen nur Kältemittel eingesetzt werden, die gemäss Anhang 2.10 ChemRRV zugelassen sind (siehe auch Anhang 4, nicht abschliessend, sowie [9]).
- Bei der Entfernung von Ablagerungen auf den Wärmetauschern dürfen keine toxischen oder schwer abbaubaren Stoffe ins Abwasser gelangen.

- Sämtliche Abwässer aus der Reinigung der erforderlichen Rohrleitungen und Wärmetauscher sowie Wärmetauscherflüssigkeiten sind sachgerecht zu entsorgen.
- Für Wärmenutzungen aus Industrieabwasser gilt zusätzlich, dass Abwasser in die öffentliche Kanalisation höchstens mit einer Temperatur von 60 °C eingeleitet werden darf. Die Abwassertemperatur darf in der Kanalisation nach der Vermischung höchstens 40 °C betragen (Anhang 3.2 Ziffer 2 GSchV).

Obwohl die AEN vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation weder der Zustimmung durch die Gemeinde bzw. den ARA-Inhaber noch einer kantonalen Bewilligung bedarf, ist es empfehlenswert, mit der Gemeinde Kontakt aufzunehmen, um die Durchführung des Projekts entsprechend den gesetzlichen Vorgaben sicherzustellen.

Die für die AEN notwendige Infrastruktur ist vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation, d.h. im Liegenschaftsareal bzw. in der Liegenschaft selbst, zu realisieren. Mieter von Liegenschaften haben vor allfälliger Nutzung die Zustimmung des Eigentümers einzuholen. Für die liegenschaftsinterne AEN kann dieser Leitfaden nur Hinweise und Informationen liefern, aber keine Empfehlungen und Vorgaben abgeben.

5 Wärmeverteilsysteme

5.1 Kalte Fernwärme

Bei diesem Konzept erfolgt der Energietransport auf tiefem Temperaturniveau von 7 bis 17 °C. Anwendung findet diese Lösung hauptsächlich bei langen Distanzen zwischen dem Ort der Energiegewinnung im Abwasserkanal oder ARA-Ablauf und den Energienutzern. Mit der kalten Fernwärme können eine oder mehrere dezentrale Heizanlagen versorgt werden.

Vorteile:

- Die Wärmeverluste sind geringer.
- Es können kostengünstige, nicht wärmegeämmte Kunststoffleitungen verwendet werden.
- Der Energietransport auch über Distanzen von mehr als einem km ist wirtschaftlich.
- Die dezentrale Energieerzeugung erlaubt optimal auf die unterschiedlichen Voraussetzungen und Bedürfnisse der Energienutzer abgestimmte Lösungen, z.B. hinsichtlich der benötigten Temperaturen.
- Ein Ausbau des Wärmeverbundes in Etappen ist einfach.

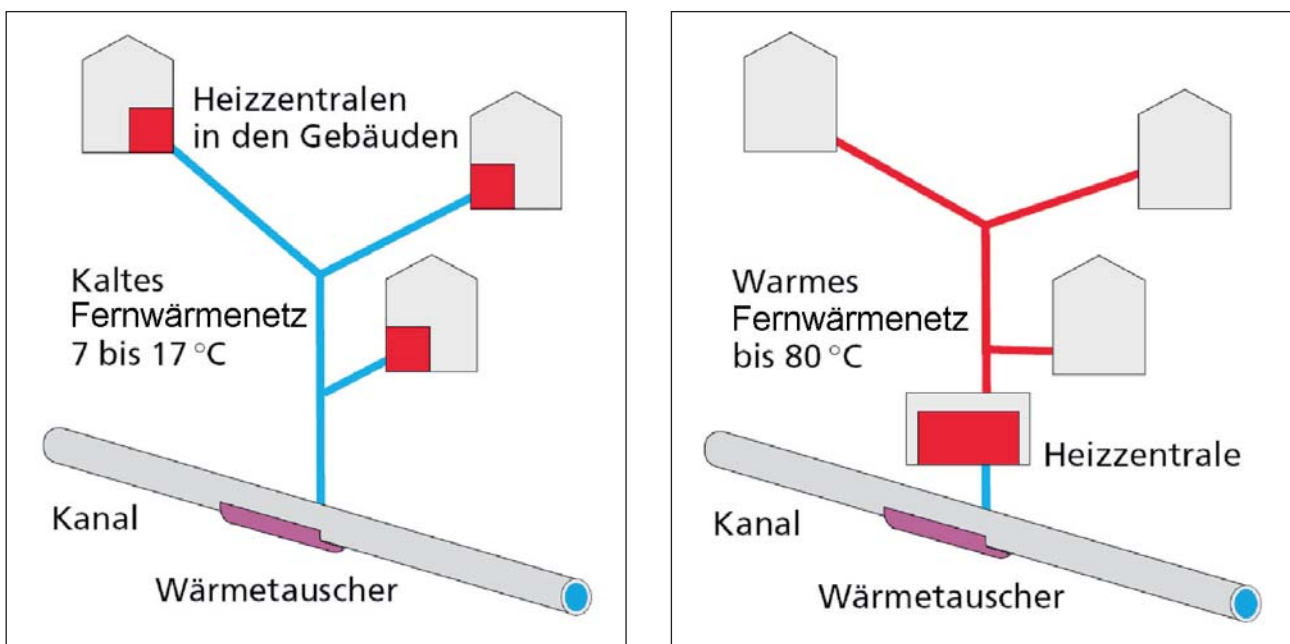


Abbildung 13/14: Kaltes (links) und warmes (rechts) Fernwärme-System (Bundesverband Wärmepumpe [16])

5.2 Warme Fernwärme

In diesem Fall wird die Wärme zentral, nahe beim Wärmetauscher, auf ein Temperaturniveau von 65 °C bis 80 °C gebracht und danach zu den einzelnen Wärmebezüglern transportiert. Die Leitungen müssen daher wärmegeämmt werden, was zu höheren Investitionen für die Wärmeverteilung führt. Anwendung findet dieses System hauptsächlich bei kurzen Distanzen zwischen den Wärmenutzern.

Vorteile:

- Unterhalt und Wartung werden zentralisiert und vereinfacht.
- Die Nutzung von Abwärme mit höherer Temperatur, z.B. durch Wärme-Kraft-Kopplung (Blockheizkraftwerk), wird erleichtert.
- Die spezifischen Investitionen für eine grosse Heizzentrale liegen tiefer als für mehrere kleine Heizzentralen, hingegen sind die Investitionen für die Leitungen grösser.
- Der Raumbedarf für die energietechnischen Installationen in den angeschlossenen Gebäuden wird reduziert.

6 Planung, Bewilligung und Realisierung von AEN aus Kanalisation und ARA-Ablauf

6.1 Eigentümer der Abwasserwärme

Die Inhaber der öffentlichen Kanalisation, wie Gemeinden oder ARA-Zweckverbände, sind gleichzeitig auch die Eigentümer des Abwassers und damit seines Wärmeinhalts. Massgebend für die Eigentumsverhältnisse ist der Ort, wo die Wärmeenergie dem Abwasser entzogen oder zugeführt wird. Die Abwasserwärme des gereinigten Abwassers vom ARA-Ablauf bis zur Einleitungsstelle ins öffentliche Gewässer gehört ebenfalls der Gemeinde resp. dem ARA-Zweckverband.

Wenn mehrere Gemeinden in einem Zweckverband oder über Anschlussverträge an dieselbe ARA angeschlossen sind, besteht bei der Erteilung von Bewilligungen zur AEN Koordinationsbedarf, insbesondere dann, wenn die AEN in Kanälen erfolgt, die in Verbandsbesitz sind. Bei der Erteilung neuer Bewilligungen sind wegen der Kumulierung von Abwasserabkühlungen und -erwärmungen bestehende und zukünftige Wärmenutzungen im ARA-Einzugsgebiet unbedingt mit zu berücksichtigen.

6.2 Abwicklung eines Projekts

Die Realisierung von AEN-Projekten wird erleichtert, wenn die Gemeinden und ARA-Inhaber sowie Energie-, GEP- und ARA-Planer im Sinne einer aktiven Planung bereits Vorarbeit leisten, die rasch einen Überblick über mögliche Nutzungen erlaubt.

Die Abwicklung eines Projekts zur Verwendung des Abwassers als Wärmequelle oder Wärmeträger erfolgt in mehreren Schritten:

Schritt 1: Dem Bauherrn (z.B. Contractor) wird empfohlen, vor Projektbeginn mit den Behörden Kontakt aufzunehmen, um allenfalls bereits einen Grundsatzentscheid zur Machbarkeit zu erwirken. Nach Projektausarbeitung ist die Besprechung mit der kommunalen oder städtischen Baubehörde sowie mit dem AWEL zweckmässig. Letzteres hilft den Gemeinden, Bauherrschaften und deren Vertretern bei der Abklärung der Nutzungsmöglichkeiten von Abwasser zu Heiz- und Kühlzwecken durch das Bereitstellen von hydrologischen Daten und Angaben über bereits bestehende Nutzungen des betroffenen Gewässers.

Die Wärmeleistung, die insgesamt mit AEN gewonnen werden kann, soll durch den ARA-Inhaber in Form von Kontingenten etappenweise freigegeben werden, so dass dieser die Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der ARA verfolgen kann und den Überblick über die AEN in seinem Einzugsgebiet behält. Wenn eine ARA die vorgeschriebene Reinigungsleistung nicht mehr erbringen kann, weil die Abwassertemperatur in ihrem Zulauf während mehreren aufeinander folgenden Tagen unter der festgelegten Grenztemperatur (siehe Anhang 1) liegt, kann der ARA-Betreiber die temporäre Ausserbetriebnahme der AEN verlangen.

Nutzungsvereinbarungen für die AEN werden in der Regel nach dem Prinzip «first come, first serve» abgeschlossen.

6.3 Gewässerschutzrechtliche Bewilligung

Schritt 2: Vor der Realisierung eines Projekts zur AEN muss in folgenden Fällen eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung beim AWEL eingeholt werden:

Bei Nutzung des gereinigten Abwassers: Das AWEL entscheidet abschliessend, ob die aktuelle Kapazität der ARA und des Gewässers Wärmeentnahmen und -einträge zulassen. Eine AEN mit gereinigtem Abwasser erfordert in jedem Fall zusätzlich eine fischereirechtliche Bewilligung (siehe dazu Anhang 6) und bei Schaffung einer neuen Einleitungsstelle ins Gewässer mit einem Leitungsdurchmesser von mehr als 200 mm auch eine wasserbaupolizeiliche Bewilligung.

Bei Nutzung von Rohabwasser in der öffentlichen Kanalisation, sofern der Eingriff in den Wärmehaushalt im Einzelfall zu einer theoretischen Temperaturänderung im Rohwasser des ARA-Zulaufs von mehr als 0.1 °C führt: Das AWEL entscheidet abschliessend, ob die aktuelle Kapazität der ARA und des Gewässers Wärmeentnahmen und -einträge zulassen.

Das Muster eines Gesuchs an das AWEL ist im Anhang 1 aufgeführt.

6.4 Nutzungsvereinbarung für den Betrieb einer Anlage zur AEN

Schritt 3: Wärmeentnahmen und -einträge aus bzw. in die öffentliche Kanalisation und Einbauten in die Kanalisation fallen in die Zuständigkeit der Gemeinde und/oder des ARA-Inhabers, die Eigentümer der öffentlichen Abwasseranlagen und damit verantwortlich für deren sachgemässen Betrieb sind. Neben einer Baubewilligung ist deshalb auch eine Vereinbarung betreffend Nutzung des Abwassers abzuschliessen. In der Nutzungsvereinbarung zwischen der Gemeinde oder dem Zweckverband und dem Inhaber der AEN-Anlage werden sämtliche Pflichten und Rechte im Zusammenhang mit dem Bau, Betrieb, Unterhalt und Rückbau der Anlage sowie die Haftungsbedingungen und die Vertragsdauer geregelt.

Die Gemeinde bzw. der Zweckverband könnten auf Grund der Eigentumsverhältnisse für die Nutzung des Abwassers Gebühren erheben. Es herrscht jedoch allgemein Konsens, dass die Gebühr lediglich symbolischen Charakter haben soll, da eine hohe Gebühr die Wirtschaftlichkeit der AEN gefährden könnte.

Voraussetzung für die Zulassung der AEN zu Kühlzwecken ist bei Neubauten die Einhaltung des Minergie-Standards. Bestehende Gebäude sind energetisch soweit möglich und zumutbar zu optimieren [5]. Ist die Lebensdauer der projektierten AEN-Anlage grösser als die noch verbleibende Kanalisationslebensdauer oder die Dauer bis zu notwendigen Sanierungen bzw. Erneuerungen, empfiehlt es sich, diesem Aspekt in der Nutzungsvereinbarung Rechnung zu tragen.

Muster von Nutzungsvereinbarungen sind in Anhang 2 und Anhang 3 aufgeführt.

6.5 Weitere Schritte

Schritt 4: Antrag für die Baubewilligung an das Bauamt der Gemeinde oder den ARA-Inhaber, je nach zu erstellenden Abwasserkanaleinbauten, Fernleitungen, Wärmepumpen, Pumpwerken und nach der Art der Fernwärme.

Schritt 5: Allenfalls Abschluss von privatrechtlichen Verträgen mit Grundeigentümern und Gemeinde zur Regelung von Durchleitungsrechten, Ausstiegsklauseln und des Rechts auf fremdem Grundstück eine Anlage zu bauen und zu betreiben, sowie Eintrag der Dienstbarkeitsvereinbarungen ins Grundbuch. Einholen der Bewilligung des Werkeigentümers für jene Fälle, in denen die Kanalisation Eigentum eines ARA-Zweckverbandes ist.

Schritt 6: Einreichen eines Subventionsgesuchs für die AEN beim AWEL (Abteilung Energie) (<http://www.energie.zh.ch/internet/bd/awel/energie/de/Subvention.html>) und Realisierung der Anlage in Koordination mit dem Inhaber und Betreiber der Kanalisation und der ARA.

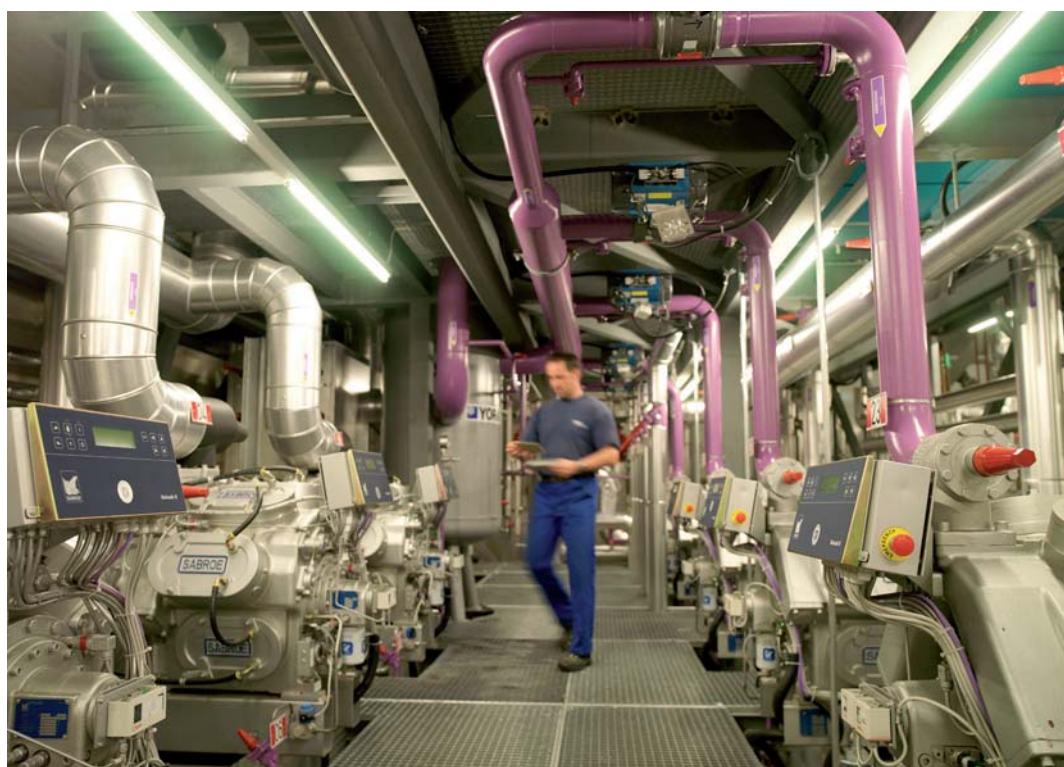


Abbildung 15: Die Wärme-/Kältezentrale Post Mülligen nutzt das gereinigte Abwasser der ARA Werdhölzli in Zürich (ewz, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich)

7 Literaturverzeichnis

1. Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (2008): Energierückgewinnung aus Abwasser – Leitfaden für Gemeinden und Energiestädte im Kanton Solothurn. Solothurn: AFU. URL: http://www.so.ch/fileadmin/internet/bjd/bumaa/pdf/wasser/342_lf_01.pdf
2. Gutzwiller Stephan, Rigassi Reto, Eicher Hanspeter (2008): Abwasserwärmenutzung – Potenzial, Wirtschaftlichkeit und Förderung. Schlussbericht Projekt Nr. 101722. Bern: Bundesamt für Energie BFE. URL: <http://www.energieforschung.ch/> [Stand 3.3.2009].
3. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2009): Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie. Merkblatt DWA-M114. Hennef: DWA.
4. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (2010): «Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser», Planungshilfe. Zürich: AWEL. URL: <http://www.grundwasser.zh.ch>.
5. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (2009): «Wärme-/Kältenutzung aus Flüssen und Seen», Planungshilfe. URL: <http://www.gewaessernutzung.zh.ch> (> Bewilligungen/Konzessionen > Wärme-/Kühlnutzung).
6. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Abteilung Energie URL: <http://www.energie.zh.ch>
7. Amt für Raumordnung und Vermessung des Kantons Zürich: Energieplan im kantonalen GIS-Browser (genutzte und ungenutzte Abwärme aus ARA). Zürich: ARV. URL: <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp?app=gb-energie> (i-Knopf und auf entsprechendes Symbol klicken; Info A. Nietlisbach).
8. Bundesamt für Umwelt BAFU (2009), Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, Vollzugshilfe
URL: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01042/index.html?lang=de>
9. PEBKA: Plattform zur elektronischen Bewilligung von Kältemittelanlagen.
<http://www.pebka.ch> sowie Energiefachstelle Kt. Zürich: URL:
http://www.energie.zh.ch/internet/bd/awel/energie/de/Fachinfo/energetische_bauvorschriften.SubContainerList.SubContainer1.ContentContainerList.0021.DownloadFile.pdf
10. Schmid Felix (2007): Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potenzialerhebung im Rahmen des GEP. Gas Wasser Abwasser 6, S. 405-411.
11. Müller Ernst A, Schmid Felix (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
URL: <http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/> [Stand 3.3.2009].
12. Buri René, Kobel Beat (2004): Wärmenutzung aus Abwasser – Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen. Bern: Bundesamt für Energie BFE. URL: <http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/> [Stand 3.3.2009].
13. Bundesamt für Energie (2008): Handbuch Energie in ARA - Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen, Bern: BFE. URL: <http://www.bfe.admin.ch> [Stand 22.11.2009].
14. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2009): SIA-Norm 380/1; Thermische Energie im Hochbau, Zürich: SIA
15. Wanner Oskar (2009): Wärmerückgewinnung aus Abwasser: Wärmetauscherverschmutzung: Auswirkungen und Gegenmassnahmen, Schriftenreihe der Eawag Nr. 19. Dübendorf: Eawag. URL: <http://library.eawag-empa.ch/schriftenreihe.htm> [Stand 22.11.2009].
16. Bundesverband Wärmepumpe (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser. München: (10/2005)
17. Elliott, J. M. (1981): Some aspects of thermal stress on freshwater in teleosts. In Stress and Fish (A. D. Pickering, ed.) pp. 209–245. London: Academic Press

Anhänge

- Anhang 1: Mustergesuch an AWEL: Gesuch um gewässerschutzrechtliche Bewilligung für Abwasserenergienutzung (AEN)
- Anhang 2: Muster: Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung (AEN) aus gereinigtem Abwasser
- Anhang 3: Muster: Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung aus dem Rohabwasser der öffentlichen Kanalisation
- Anhang 4: Übersicht Kältemittel (nicht abschliessend)
- Anhang 5: Berechnung der zulässigen Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf
- Anhang 6: Auswirkungen und Abschätzung der Gewässerbelastung durch AEN

Anhang 1: Mustergesuch an AWEL

Gesuch um gewässerschutzrechtliche Bewilligung für Abwasserenergienutzung (AEN)

Antragsteller

Bauherrschaft (Adresse) _____
 (Ansprechperson) _____

Betreiber der AEN-Anlage (Adresse) _____
 (sofern nicht identisch mit Bauherrschaft) (Ansprechperson) _____

Planer der Anlage (Adresse) _____
 (Ansprechperson) _____

Standort AEN (Adresse) _____
 (Katasternummer der Liegenschaft) _____

Eigentümer, Betreiber des Kanals _____

Betroffene ARA _____

Zweck der Energienutzung aus Abwasser

Heizen: nur Raumheizung Raumheizung und Warmwasser
 Kühlen: Klimakühlung gewerbliche Kühlung

Energiebereitstellung

monovalent (nur Abwasserenergie)
 bivalent (Abwasserenergie und Zusatzenergie)

Leistung der Abwasserwärmepumpe _____ kW_{thermisch} _____ kW_{elektrisch} Min. Einleitungstemperatur Abwasser _____ °C
 Leistung der Abwasserkältemaschine _____ kW_{thermisch} _____ kW_{elektrisch} Max. Einleitungstemperatur Abwasser _____ °C

Art der Zusatzenergie zum Heizen _____
 zum Kühlen _____

Leistung der Zusatzenergie-Anlage zum Heizen _____ kW
 zum Kühlen _____ kW

Energienutzung aus Abwasser

aus Rohabwasser (vor ARA) mittels Wärmetauscher in Kanalisation mittels Rohabwasserentnahme
 aus gereinigtem Abwasser (nach ARA) kalte Fernwärme warme Fernwärme
 Abwasserrückführung in ARA-Auslauf
 Direkteinleitung ins Gewässer: Einleitungsstelle Koordinaten _____

Wärmeträgerflüssigkeit im Zwischenkreislauf Wärmetauscher - Wärmepumpe

Wasser anderes Produkt Bezeichnung _____

Auswirkungen auf den ARA-Betrieb und das Gewässer

Temperatur Rohwasser ARA-Zulauf Kalte Jahreszeit: von ___ bis ___ °C Warme Jahreszeit: von ___ bis ___ °C
 Wassermenge bei Trockenwetter _____ m³/h (im ARA-Zu-/Ablauf) Davon maximal genutzt _____ m³/h
 Grenztemperatur für Wärmeentnahme _____ °C (Standardwert für Rohabwasser: 10 °C)
 Max. Abkühlung des Abwassers im Heizbetrieb _____ °C (bei Trockenwetter) (Standardwert für Rohabwasser: 0.5 °C)
 Max. Erwärmung des Abwassers im Kühlbetrieb _____ °C (im ARA-Auslauf bei Trockenwetter)
 Bezeichnung des Vorfluters (Gewässer) _____

Beantragte Dauer der Bewilligung _____ Jahre

_____, den _____

Ort und Datum _____ Unterschrift _____

Anhang 2: Muster für Nutzungsvereinbarung (AEN nach der ARA)

Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung (AEN) aus gereinigtem Abwasser

Dieses Muster gilt für kalte Fernwärme, d.h. die Wärmepumpe befindet sich in jedem Fall ausserhalb der ARA.

zwischen ARA/Zweckverband der Gemeinde oder Abwasserregion _____
Adresse _____
(Inhaber der ARA) -- in der Folge **AI** genannt

und der Bauherrschaft _____
Adresse _____
(Abwasserenergienutzer) -- in der Folge **AN** genannt.

1. Nutzungsrecht für gereinigtes Abwasser

- a) Der AI erteilt dem AN das Recht für die Inanspruchnahme des gereinigten Abwassers aus dem ARA-Auslauf im Bereich der Parzelle _____ (Bezeichnung der Entnahmestelle) zum Zwecke der Wärmegewinnung und zur Kühlung unter den in der vorliegenden Vereinbarung aufgeführten Bedingungen und Auflagen. Vorbehalten bleiben weitere Auflagen im Zusammenhang mit neuen gewässerschutzrechtlichen Bestimmungen.
- b) Die Rückgabe des gereinigten Abwassers erfolgt _____ (Bezeichnung der Rückgabestelle) mit einer Maximaltemperatur von ____ °C.
- c) Der AI liefert dem AN gereinigtes Abwasser im Umfang von minimal ____ m³/h und maximal ____ m³/h.
- d) Das gereinigte Abwasser wird dem AN in einem Temperaturband von ____ °C bis ____ °C geliefert.
- e) Die Einräumung des Nutzungsrechts erfolgt gegen eine Entschädigung von _____ CHF jährlich / pro kWh / unentgeltlich.
- f) Eine weitergehende Nutzung oder eine Übertragung des Nutzungsrechts auf Dritte ist nur unter den in dieser Vereinbarung festgelegten Bedingungen und Auflagen zulässig und bedarf der vorgängigen schriftlichen Zustimmung des AI.

2. Erstellung der Anlage

- a) Der AN verpflichtet sich, die Wärmegewinnungsanlage bzw. Kühlanlage zu erstellen. Die Anlage ist nach den anerkannten Regeln der Technik und unter Einhaltung der massgebenden Normen, Verordnungs- und Gesetzesvorschriften zu errichten. Insbesondere muss der Zugang zum ARA-Auslaufkanal über die bestehenden Schächte gewährleistet bleiben. Spätere Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten am Kanal dürfen durch die Einbauten nicht behindert werden.
- b) Die Bauarbeiten werden von Seiten des AI begleitet und abgenommen. Die Detailpläne der Bauten sind dem AI frühzeitig vor Baubeginn zur Genehmigung zuzustellen.
- c) Der AN erstellt eine Fotodokumentation über den Bau der Wärmetauscheranlage zuhanden des AI.

3. Spezielle Vorschriften zur Konstruktion der Anlage

- a) Zwischen dem abwasserseitigen Wärmetauscher und der Wärmepumpe muss ein überwachter Zwischenkreislauf mit Wasser betrieben werden.
- b) Es dürfen nur Kältemittel eingesetzt werden, die gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (SR 814.81) zugelassen sind. Der AN verpflichtet sich, das gereinigte Abwasser nicht zu verschmutzen.
- c) Die Kälteerzeugung muss zusätzlich zum Abwasser-Wärmetauscher über eine Rückkühlmöglichkeit anderer Art ausgerüstet sein.
- d) Alle Teile im ARA-Auslaufkanal sind in rostfreiem Chromstahl oder Kunststoff auszuführen.

4. Betrieb der Anlage

- a) Verantwortlich für den Betrieb der Anlage ist der AN.
- b) Unvermeidbare schnelle Temperaturveränderungen im eingeleiteten Abwasser, z.B. durch Ein- und Ausschaltvorgänge, dürfen im Gewässer nicht zu Temperaturschwankungen von mehr als 1 °C führen. Diese Anforderung gilt nach weitgehender Durchmischung.
- c) Die rasche Durchmischung des für die AEN genutzten Abwassers bei direkter Einleitung ins Gewässer muss mit einem gewässerkundlichen Gutachten bestätigt werden.
- d) Wird durch den Betrieb der Anlage die Einhaltung der Gewässerschutzbestimmungen gefährdet oder beeinträchtigt, kann der AI das temporäre Abschalten der Anlage anordnen. Der AN hat keinen Anspruch auf Ersatz der daraus entstehenden Betriebseinbussen.
- e) Steigt die Wassertemperatur des Gewässers gegen 25 °C, kann der AI das Abschalten der Kühlanlage anordnen. Der AN hat keinen Anspruch auf Ersatz der daraus entstehenden Betriebseinbussen.
- f) Sollte aufgrund unvorhergesehener Ereignisse eine erhebliche Änderung in den tatsächlichen Verhältnissen eintreten (z.B. Aufhebung des Kanals, geringerer Abwasseranfall), wäre eine jederzeitige Aufhebung der Vereinbarung durch den AI auch während der Vertragsdauer (Ziffer 10) möglich. An den Kosten, die dem AN durch eine allfällige, dadurch bedingte Anpassung des Energiegewinnungs-/Heizungssystems erwachsen sollten, beteiligt sich der AI anteilmässig entsprechend seiner Verantwortlichkeit für die Änderung in den tatsächlichen Verhältnissen und unter Berücksichtigung der Bestandesdauer der Anlage.

5. Kontrolle der Anlage / Zugang

- a) Für allfällige Sach- oder Personenschäden, die durch das Betreten der Anlage durch Dritte verursacht werden, übernimmt der AI keine Haftung.
- b) Mitarbeiter des AI dürfen die Anlage zu Inspektionszwecken jederzeit begehen.

6. Baulicher und betrieblicher Unterhalt

- a) Bauliche und betriebliche Unterhaltsmassnahmen am Wärmetauscher bedürfen der frühzeitigen Absprache mit dem AI. Ohne Zustimmung des AI dürfen keine weiteren Einbauten erfolgen.
- b) Die Kosten für den baulichen und betrieblichen Unterhalt der Anlage gehen zulasten des AN.
- c) Bei der Reinigung der Anlagen dürfen keine toxischen und schwer abbaubaren Stoffe ins Abwasser gelangen. Die Wahl der Reinigungsmittel hat in Rücksprache mit dem ARA-Betreiber zu erfolgen. Sämtliche Abwässer aus der Reinigung sind der Schmutzwasserkanalisation zuzuführen.
- d) Der bauliche und betriebliche Unterhalt des ARA-Auslaufs geht zulasten des AI. Die Mehrkosten, die sich durch den Wärmetauscher ergeben, gehen zulasten des AN.

7. Sanierung, Aufhebung der Anlage

- a) Die Kosten einer Sanierung der Anlage trägt der AN.
- b) Die Kosten einer allfälligen Aufhebung der Anlage (inkl. Rückbau, Entsorgung, Instandstellung des ARA-Auslaufkanals etc.) trägt der AN (vorbehalten bleibt Ziffer 4 lit. f).

8. Haftung

Für Schäden an der Anlage übernimmt der AI keine Haftung, sofern sie nicht absichtlich oder grobfahrlässig durch seine Mitarbeiter verursacht worden sind.

9. Offenlegungspflicht

Der AN gewährt dem AI jederzeit Einblick in die Energiedaten seiner Anlage.

10. Vertragsdauer, Kündigung

- a) Der Vertrag tritt am _____ in Kraft und gilt bis zum _____.
- b) Der Vertrag ist jeweils mit einer Kündigungsfrist von _____ Monaten auf Ende _____ kündbar.
- c) Eine vorzeitige Auflösung der Vereinbarung nach Ziffer 4 lit. e dieser Vereinbarung bleibt vorbehalten.

11. Gerichtsstand

Gerichtsstand ist _____

Für den Abwasserenergienutzer (AN)

_____, den _____

Ort und Datum

Stempel und Unterschrift

Für den Inhaber der ARA (AI)

_____, den _____

Ort und Datum

Stempel und Unterschrift

Anhang 3: Muster für Nutzungsvereinbarung (AEN vor der ARA)

Nutzungsvereinbarung für die Abwasserenergienutzung aus dem Rohabwasser der öffentlichen Kanalisation

zwischen Zweckverband der Abwasserregion oder der Gemeinde _____
Adresse _____
(Inhaber / Betreiber Kanalnetz) -- in der Folge **KI** genannt

und ARA / Zweckverband der Gemeinde oder Abwasserregion,
falls dieser nicht identisch ist mit KI _____
Adresse _____
(Inhaber und/oder Betreiber der ARA) -- in der Folge **AI** genannt

und der Bauherrschaft _____
Adresse _____
(Abwasserenergienutzer) -- in der Folge **AN** genannt

1. Nutzungsrecht für Rohabwasser aus der öffentlichen Kanalisation

- a) KI und AI erteilen dem AN das Recht für die Inanspruchnahme des Rohabwassers im Bereich der Parzelle _____ (Bezeichnung der Entnahmestelle) zum Zwecke der Wärmeengewinnung unter den in der vorliegenden Vereinbarung aufgeführten Bedingungen und Auflagen. Vorbehalten bleiben weitere Auflagen im Zusammenhang mit neuen gewässerschutzrechtlichen Bestimmungen.
- b) Die Einräumung des Nutzungsrechts für eine maximale Entzugsleistung von _____ kW erfolgt gegen eine Vergütung von _____ CHF pro kWh / unentgeltlich.
- c) Eine weitergehende Nutzung oder eine Übertragung des Nutzungsrechts auf Dritte ist nur unter den in dieser Vereinbarung festgelegten Bedingungen und Auflagen zulässig und bedarf der vorgängigen schriftlichen Zustimmung des KI und des AI.

2. Erstellung der Anlage

- a) Der AN verpflichtet sich, die Wärmegegewinnungsanlage bzw. Kühlungsanlage an der bezeichneten Stelle zu erstellen. Die Anlage ist nach den anerkannten Regeln der Technik und unter Einhaltung der massgebenden Normen, Verordnungs- und Gesetzesvorschriften zu errichten. Insbesondere muss der Zugang zur Kanalisation über die bestehenden Schächte gewährleistet bleiben. Spätere Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten am Kanal dürfen durch die Einbauten nicht behindert werden.
- b) Der für die Energiegewinnung bestimmte Abwasserkanal _____ bleibt im Eigentum des KI.
- c) Der AN verpflichtet sich, die Anlage mit einer Einrichtung auszustatten, damit der Wärmetauscher von der ARA _____ (Bezeichnung der ARA) aus abgeschaltet werden kann. Die Kosten für diese Einrichtungen gehen zu Lasten des AN.
- d) Die Bauarbeiten werden von Seiten des KI begleitet und abgenommen. Die Detailpläne der Bauten sind dem KI und dem AI frühzeitig vor Baubeginn zur Genehmigung zuzustellen.
- e) Der AN erstellt eine Fotodokumentation über den Bau der Wärmetauscheranlage zuhanden des AI und KI.

3. Spezielle Vorschriften zur Konstruktion der Anlage

- a) Zwischen dem abwasserseitigen Wärmetauscher und der Wärmepumpe muss ein überwachter Zwischenkreislauf mit Wasser betrieben werden.
- b) Es dürfen nur Kältemittel eingesetzt werden, die gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (SR 814.81) zugelassen sind. Der AN verpflichtet sich, das gereinigte Abwasser nicht zu verschmutzen.
- c) Alle Teile im Abwasserkanal sind in rostfreiem Chromstahl oder Kunststoff auszuführen.
- d) Die Kanalisation wird regelmässig mit Wasserhochdruck gespült. Beim Spülen der Kanalisation dürfen sich der Spülschlauch und die Hochdruckdüse nicht verklemmen. Die Konstruktion und die Halterungen der Wärmetauscherelemente sind dementsprechend auszulegen und zu installieren.

- e) Die Funktionsfähigkeit der Kanalisation muss garantiert bleiben. Die Einbauten müssen so gestaltet sein, dass keine Faserstoffe, Textilien oder sonstige grobe Teile hängen bleiben und der Abflussquerschnitt nicht unzulässig reduziert wird.

4. Betrieb der Anlage

- a) Verantwortlich für den Betrieb der Anlage ist der AN.
- b) KI und AI geben keine Garantien an den AN über Menge, Temperatur, Zusammensetzung und zeitliche Verteilung des Abwassers ab.
- c) Sobald aufgrund des Betriebs der Anlage die Einlauftemperatur des Abwassers in die ARA auf weniger als _____ °C sinkt, ist der AI befugt, die Wärmeentnahme mit Fernwirkung zu unterbrechen. Der Unterbruch wird aufgehoben, sobald die Einlauftemperatur _____ °C wieder überschreitet. Der AN hat keinen Anspruch auf Ersatz der daraus entstehenden Betriebseinbussen.
- d) Sollte aufgrund unvorhergesehener Ereignisse eine erhebliche Änderung in den tatsächlichen Verhältnissen eintreten (z.B. Aufhebung des Kanals, geringerer Abwasseranfall), wäre eine jederzeitige Aufhebung der Vereinbarung durch den AI auch während der Vertragsdauer (Ziffer 10) möglich. An den Kosten, die dem AN durch eine allfällige, dadurch bedingte Anpassung des Energiegewinnungs-/Heizungssystems erwachsen sollten, beteiligt sich der KI anteilmässig entsprechend seiner Verantwortlichkeit für die Änderung in den tatsächlichen Verhältnissen und unter Berücksichtigung der Bestandesdauer der Anlage.

5. Kontrolle der Anlage / Zugang

- a) Ein Einstieg in den Abwasserkanal ist dem AN nur unter Aufsicht des KI gestattet. Die Hilfestellung wird nach Aufwand verrechnet.
- b) Für allfällige Sach- oder Personenschäden, die durch das Betreten der Anlage durch Dritte verursacht werden, übernimmt der KI keine Haftung.
- c) Mitarbeiter des KI und des AI dürfen die Anlage jederzeit begehen.

6. Baulicher und betrieblicher Unterhalt

- a) Bauliche und betriebliche Unterhaltmassnahmen am Wärmetauscher bedürfen der frühzeitigen Absprache mit dem KI und dem AI. Ohne Zustimmung von AI und KI dürfen keine weiteren Einbauten erfolgen.
- b) Die Kosten für den baulichen und betrieblichen Unterhalt der Anlage gehen zulasten des AN.
- c) Während der Unterhaltsarbeiten muss der Abwasserdurchfluss durch den Abwasserkanal gewährleistet bleiben.
- d) Bei der Reinigung der Anlagen dürfen keine toxischen und schwer abbaubaren Stoffe ins Abwasser gelangen. Die Wahl der Reinigungsmittel hat in Rücksprache mit dem AI zu erfolgen. Sämtliche Abwässer aus der Reinigung sind der Schmutzwasserkanalisation zuzuführen.
- e) Der bauliche und betriebliche Unterhalt der öffentlichen Kanalisation geht zulasten des KI. Die Mehrkosten und -aufwände, die auf den Betrieb des Wärmetauschers zurückzuführen sind, gehen zulasten des AN.

7. Sanierung, Aufhebung der Anlage

- a) Die Kosten einer Sanierung der Anlage trägt der AN.
- b) Die Kosten einer allfälligen Aufhebung der Anlage (inkl. Rückbau, Entsorgung, Instandstellung der öffentlichen Kanalisation) trägt der Nutzer (vorbehalten bleibt Ziffer 4 lit. d vorstehend betreffend Aufhebung der Vereinbarung während der Vertragsdauer.)

8. Haftung

- a) Für Schäden an der Anlage übernehmen KI und AI keine Haftung, sofern sie nicht absichtlich oder grobfahrlässig durch ihre Mitarbeiter verursacht worden sind.

Anhang 4: Kältemittel (nicht abschliessend)

Übersicht über die wichtigsten Kältemittel

Tab. 2 > Klassifizierung der Kältemittel

Liste nicht abschliessend

Verbotene Kältemittel	FCKW (chlorhaltig, perhalogeniert)		z. B. R11 R12 R502 R13B1	Bestehende Anlagen dürfen weiter betrieben, aber nicht mehr nachgefüllt werden. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht, Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung.
	Service-Kältemittel	HFCKW (chlorhaltig, teilweise halogeniert)	Einstoff-Kältemittel z. B. R22 Gemische (Blends) überwiegend R22-haltig R401A (MP39) R402A (HP80) R402B (HP81) R408A (FX-10) R409A (FX-56)	Verbot für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten. Bestehende Anlagen dürfen weiter betrieben und bis Ende 2009 nachgefüllt werden, mit recycelten Kältemitteln bis Ende 2014. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht, Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung
Kältemittel für neue Anlagen und Geräte	FKW / HFKW (chlorfrei)	Einstoff-Kältemittel	z. B. GWP ¹ R23 14800 R134a 1430 R125 3500 R143a 4470	Bewilligungspflicht für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten von Anlagen mit mehr als 3 kg in der Luft stabilen Kältemitteln.; Voraussetzung für eine Bewilligung: fehlende Alternativen mit natürlichen Kältemitteln. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht, Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung.
		Gemische (Blends)	z. B. GWP ² R404A 3980 R407A 2110 R407B 2800 R407C 1770 R407D 1630 R410A 2090 R413A 2050 R417A 2350 R422A 3140 R422D 2730 R427A 2140 R507A 3920	
	natürlich	Einstoff-Kältemittel	z. B. R170 Ethan R290 Propan R717 (NH ₃) R718 (H ₂ O) R744 (CO ₂) R600a Isobutan R1270 Propen	Natürliche Kältemittel sind für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten anzustreben. Nach ChemRRV keine Bewilligungspflicht und keine Meldepflicht für natürliche Kältemittel. Für Anlagen mit mehr als 3kg Kältemittel: Wartungsheft.
		Gemische (Blends)	z. B. R290/R600a R290/R170 R723 (DME/NH ₃)	

1 Zeithorizont 100 Jahre, Zahlenwerte aus IPCC IV (2007). Die GWP-Werte haben Toleranzen von bis zu ±35%: www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm

2 GWP-Werte für Gemische: nach jeweiligen Massenanteilen Reinstoff gewichtete Summen der GWP-Werte der Bestandteile nach IPCC IV (2007).

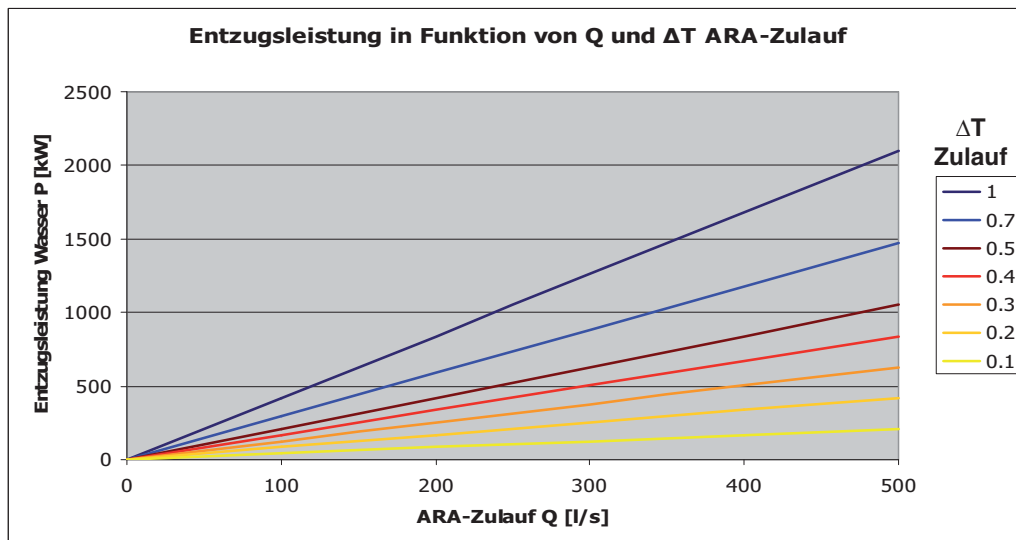
Aus: Anhang A2 Bewilligung von Anlagen mit in der Luft stabilen Kältemitteln (BAFU (2009))

Anhang 5: Berechnung der zulässigen Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf

Vorgehen:

Anhand des Trockenwettertagesmittels Q (l/s) und der zulässigen Temperaturabnahme ΔT seines Zuflusses (Zusammenhang $P=f(Q, \Delta T)$) kann der ARA-Betreiber den möglichen Leistungszug P ermitteln. Alternativ kann er auch den Einfluss eines vorgegebenen Leistungsbezugs auf die Temperatur des ARA-Zuflusses und damit auf die Nitrifikationsleistung (siehe unten) ermitteln. ($Q = 85$ %-Wert aller aktueller Trockenwettertage, Momentanwert im Tagesmittel)

1.



2. Mit den Tagessammelproben der Ammoniumkonzentration, die im Auslauf der ARA gemessen werden, wird ein Summenhäufigkeitsdiagramm aufgestellt. Anhand dieses Diagramms kann herausgelesen werden, ob und um wie viel die Abflusskonzentration des Ammoniums [mg NH₄-N/l] bei 90% der Tagessammelproben unter dem vorgegebenen Grenzwert liegt.

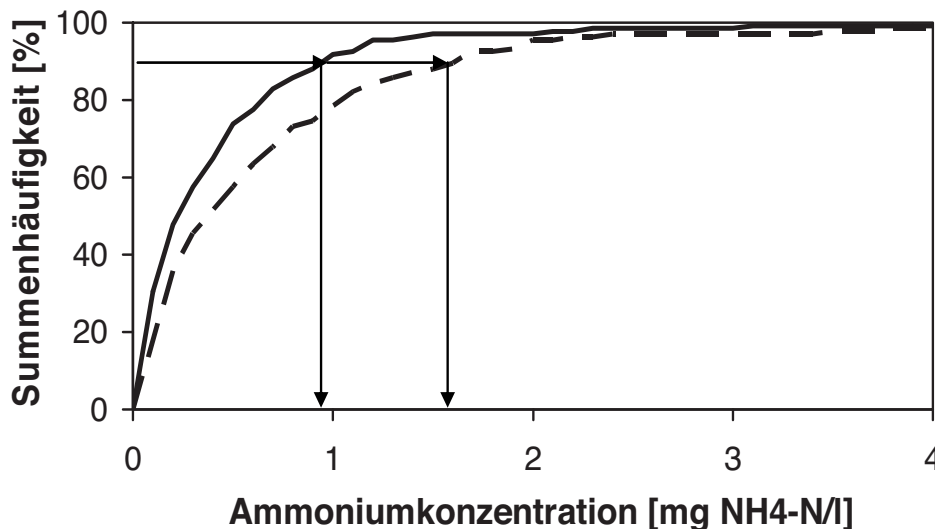


Abb.: Summenhäufigkeitsdiagramm für Tagessammelproben der Ablaufkonzentration von Ammonium (durchgezogene Kurve) und Erhöhung des Ablaufwerts durch eine AEN (gestrichelte Kurve).

3. Mit einem gewählten ΔT kann die neue Summenhäufigkeitskurve anhand der folgenden Formel ermittelt werden:

$$C_{\text{NH}_4\text{-N, neu}} = e^{0.33 \cdot \Delta T} * C_{\text{NH}_4\text{-N, gemessen}}$$

4. Es ergibt sich ein neuer Ablaufwert des Ammoniums [mg NH₄-N/l] bei 90% der Tagessammelproben. Liegt dieser Wert unter dem vorgegebenen Grenzwert, kann die Wärmeentnahme genehmigt werden.
5. Liegt dieser Ablaufwert über dem vorgegebenen Grenzwert, ist die Berechnung mit einem kleineren ΔT zu wiederholen, bis der Ablaufwert unterhalb des Grenzwertes zu liegen kommt.
6. Das gesamte Berechnungsprozedere muss für jede ARA individuell durchgeführt werden.

Anhang 6: Auswirkungen und Abschätzung der Gewässerbelastung durch AEN

Ökologische Auswirkungen von Temperaturveränderungen im Gewässer:

Bachforellen haben wenig Toleranz für hohe Wassertemperaturen und ein Anstieg über die Temperatur, bei der sie akklimatisiert sind, kann ihr Überleben innerhalb wenigen Tagen gefährden. Andere Fischarten sind toleranter, aber in der Schweiz sind rund 91% der Bäche und Flüsse als Forellengewässer klassiert.

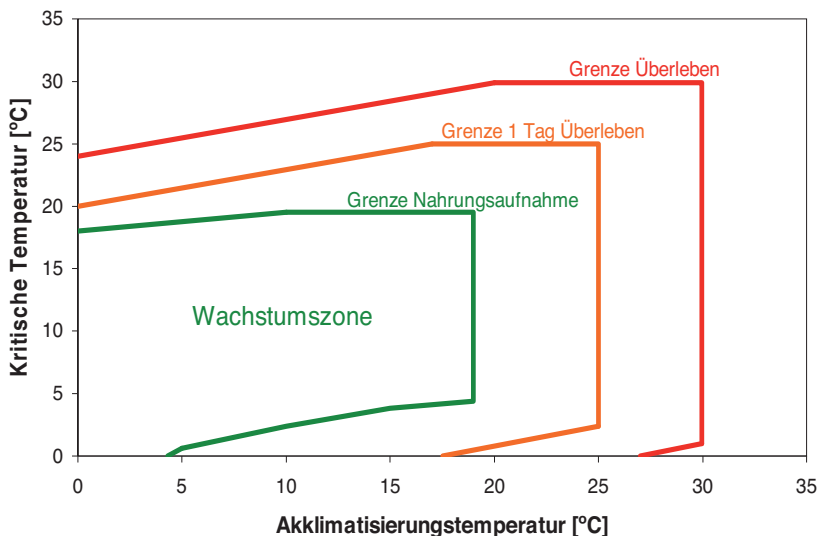


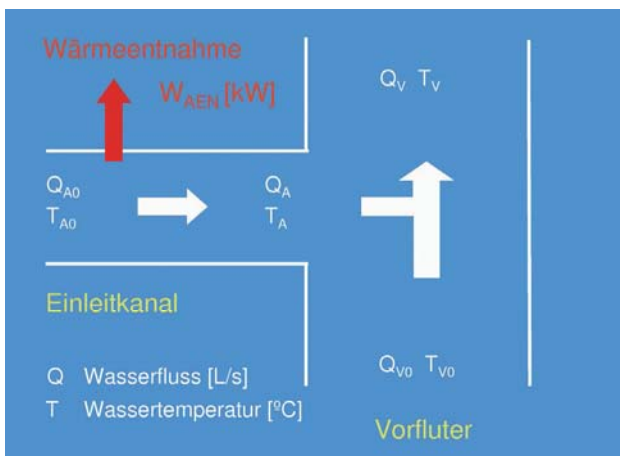
Abb.: Temperaturtoleranzpolygon für erwachsene Bachforellen [17]

(Akklimatisierungstemperatur: Diejenige Temperatur, bei welcher Fische im Labor vor Versuchsbeginn gehältert werden (i. d. R. sind bei Fischen für Adaptation an 1 °C Änderung 24 h erforderlich))

Gesetzliche Restriktionen für Wärmeentnahme aus und Wärmeeintrag in Gewässer:

Die Temperatur des ins Gewässer eingeleiteten Abwassers darf höchstens 30 °C betragen. Nach vollständiger Durchmischung darf die Gewässertemperatur 25 °C nicht übersteigen und darf aufgrund der AEN um höchstens 3 °C, in Forellengewässern um höchstens 1,5 °C verändert sein. Die Gewässertemperatur an der Einleitungsstelle soll nicht tiefer sein als 1 °C. Schnelle und häufige Veränderungen der Gewässertemperatur sollen vermieden werden und kleiner sein als 1 °C.

Abschätzung der Veränderung der Gewässertemperatur aufgrund der AEN:



$$Q_A = Q_{A0}$$

$$T_A = T_{A0} - k W_{AEN} / Q_{A0}$$

$$k = 0.24 \text{ L}^\circ\text{C}/\text{kWs}$$

$$T_V = \frac{Q_A T_A + Q_{V0} T_{V0}}{Q_A + Q_{V0}}$$

$$\Delta T = T_V - T_{V0}$$

Wärmeentnahmen wirken sich auf die Gewässerökologie günstig aus, Wärmeeinträge eher negativ. Abwasser soll deshalb nur dann zu Kühlzwecken verwendet werden, wenn T_V im Sommer deutlich unter 25 °C liegt oder ΔT wenige Zehntelgrade beträgt.

Beispielrechnungen für die Wärmebelastung des Gewässers durch AEN:

	Wärmeentnahme	Abwasser vor AEN			Vorfluter vor Einleitung		Vorfluter nach Durchmischung				
		Q_{A0}	T_{A0}	T_A	Q_{V0}	T_{V0}	Q_V	T_V	ΔT	T_V	ΔT
	kW	L/s	°C	°C	L/s	°C	L/s	°C	°C	°C	°C
Glatt	-1000	200	22.0	23.2	5000	20.0	5200	20.08	0.08	20.12	0.12
Limmat	-5000	650	24	25.8	100000	23	100650	23.01	0.01	23.02	0.02
Dorfbach	500	20	20	14.0	200	20	220	20.00	0.00	19.45	-0.55
Dorfbach	-500	20	20	26.0	200	20	220	20.00	0.00	20.55	0.55